



TITLE:

対人関係ネットワークの時間的変化:なぜあなたは「ひとりぼっち」なのか (数学と生命現象の連関性の探究:新しいモデリングの数理)

AUTHOR(S):

吉田, 誠; 鈴木, 秀典; 松井, 淳一

CITATION:

吉田, 誠 ...[et al]. 対人関係ネットワークの時間的変化:なぜあなたは「ひとりぼっち」なのか (数学と生命現象の連関性の探究:新しいモデリングの数理). 数理解析研究所講究録 2014, 1887: 1-7

ISSUE DATE:

2014-04

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/195733>

RIGHT:

対人関係ネットワークの時間的变化 ～なぜあなたは「ひとりぼっち」なのか

Temporal Changes of Personal Relations Network - “Why are you left alone?”

¹ 吉田誠・² 鈴木秀典・³ 松井淳一

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物科学専攻 ² 龍谷大学大学院理工学研究科数理情報学専攻

³ 静岡大学大学院工学研究科数理システム工学専攻

¹ Makoto YOSHIDA, ² Hidenori SUZUKI and ³ Junichi MATSUI

¹ Department of Aquatic Bioscience, Graduate School of Agricultural and Life Science,
The University of Tokyo, Tokyo 113-8657 JAPAN

² Department of Applied Mathematics and Informatics, Faculty of Science and Technology,
Ryukoku University, Otsu, Shiga 520-2194 JAPAN

³ Department of Mathematical and Systems Engineering, Graduate School of Engineering,
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561 JAPAN

1. Introduction

近年、社会的な問題として「いじめ」、「孤独死」といった現象が取り上げられる機会が増えつつある。両者に共通する要素として、人と人とのコミュニケーションを介して成り立つ社会構造の中であって、他者とのつながりを喪失することで生じる孤立状態である点が挙げられる。藤竹ら (2001)、川浦 (2002) は、コミュニケーション手段としての携帯メールの利用と「孤立」「孤独」に対する不安との関係を取り上げており、現代社会においては、「どのような方法で、いかに他者とコミュニケーションをとるか」が重要なファクターであると言える。

杉崎 (2008) は、友人関係ネットワークとその友人関係ネットワークを介して伝わるメッセージの伝達ネットワークの構造および時系列変化について、ネットワーク全体の時間発展を主に議論している。松島 (2010) は友人関係ネットワークのネットワーク構造に加え、重み付き有向ネットワークで表された友人同士の関係性を元に、ネットワーク全体での総友人ペア数の時間的変遷に着目した解析を行なっている。しかしこれらの研究では、ネットワークを構成する個々人が「各状態においてどのような友人関係をもっていたか」という、個人に注目した解析はなされておらず、友人関係ネットワーク内にある個人が、他の人とどのような友人関係を持ちうるかを考察した例は無い。

本研究ではまず、対人関係を模した簡易なネットワークモデルを構築し、時間発展により生じる「孤立」状態を再現する。次に、個々人の振る舞いを“社交性”を尺度として変化させ、「孤立」状態が“社交性”なる個人の資質によって生じるのか、あるいはネットワークの構造から不可避免的に生じてしまうのかを考察する。

2. Basic Model

2.1 基本モデルの概念

本研究の扱う「ひとりぼっち」すなわち「孤立」状態は、他者とコミュニケーションをとる機会がない状態を指す。「孤立」状態が生じる原因として、「コミュニケーションをとる相手がいない」(＝機会の不足)、「相手がいても話しかけられない」(＝行動力の不足)、「話しかけても相手とうまく話が合わない」(＝相性の不一致)などの要因が考えられる。つまり「孤立」状態の発生には「コミュニケーションをとりうる相手の数」(＝知人の数) および「コミュニケーション能力」(＝社会的かどうか) が効いてくると考えられる。そこで、複数人を含む対人ネットワークにおいて他者とのつながりの強さ“社交性”を定量化し、個人の“社交性の高さ”に依存してそのつながりを変化させるモデルを考える。

2.2 ネットワーク構造

対人関係を表すネットワークモデルとして、複数のノードと、各ノード間をつなぐリンクからなるネットワークを設定する。各ノードが個人を、各リンクが個人間のつながりを表す。個々人のつながりの強さを“親密度”として各リンクにそれぞれの重みとして与え、各ノードがもつリンクの重みの総和を“社交性”とする (図 1)。

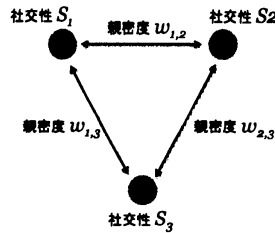


図 1. 考案したネットワークモデル (3 人の場合)

n 人のグループにおける親密度および社交性の定義は下式で与えられる。

個人 i, j 間の親密度: $w_{i,j}$ ($w \geq 0$)

個人 i の社交性: $S_i \triangleq \sum_{j=1}^n w_{i,j}$

このとき、あるノードが保有する全てのリンクについて $w = 0$ となり、当該ノードの社交性 $S = 0$ となった時、そのノードは「孤立」状態となる。

2.3 相互作用

個人間のコミュニケーションを再現するために、以下のモデル (図 2) に従ってネットワークを時間発展させる。

- ①初期状態として、全てのリンクに対し親密度 $w = 1$ の初期値を与える。
- ②各個人は、保有するリンクのそれぞれに対して以下に定める確率で呼びかけを行なう。

$$\text{発信確率: } p_i := \frac{S_i}{1 + S_i} \quad (0 \leq p_i < 1)$$

- ③同一のリンクを共有する 2 人の双方が呼びかけを行なった場合のみ、コミュニケーションが成立する。
- ④コミュニケーションの際、各々が「会話」「メール」どちらか一方の連絡手段を 1/2 の確率で選択する。
- ⑤2 人が選択した連絡手段の組み合わせに応じ、後述の相性表 (表 1) に従って親密度 w の値が変化する。
- ⑥以上を 1 ステップとして、一定時間が経過した後の各個人の社交性 S の値を検討する。

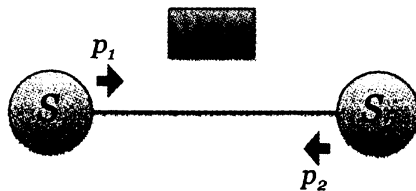


図 2. コミュニケーションの模式図

qが選ぶ 連絡手段		
親密度 の変化	会話	メール
pが選ぶ 連絡手段		
会話	+1	-1
メール	-1	+1

表 1. コミュニケーションの相性表

2.4 ネットワークの時間発展

時間発展の一例として、5 人からなるネットワーク (図 3) を考え、30 ステップでの社交性の推移をシミュレーションしたところ、5 人中 4 人は社交性 S が開始時よりやや高い値で推移した一方、残る 1 人は 16 ステップ目で社交性 S が 0 となり、「孤立」状態になる様子がみられた (図 4)。

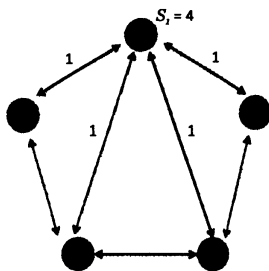
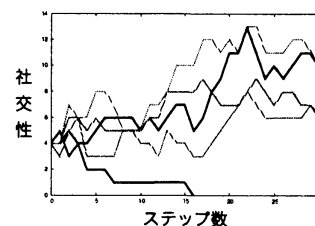


図 3. 5 人からなるネットワークの構造

図 4. 5 人のネットワークにおける 30 ステップ間の各々の社交性 S の推移

3. Analysis

本章では、前章で作成した基本モデルの挙動を詳細に解析する。

3.1 各パラメータの一般化

前章 2.3 で定義した基本モデルのパラメータを一般化するため、相互作用において以下の点を変更する。

④コミュニケーション時に会話をを選ぶ確率を τ 、メールを選ぶ確率を μ とおく。

⑤表 1 で示された相性表の各利得を一般化し（表 2）、対応する利得行列を $A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{bmatrix}$ とおく。

		qが選ぶ 連絡手段	
		親密度 の変化	
pが選ぶ 連絡手段	会話	α_{11}	α_{12}
	メール	α_{21}	α_{22}

表 2. 一般化した相性表

このとき、注目する 2 人でコミュニケーションが成立する確率は、双方がともに呼びかけを行なう確率 $(p_i \cdot p_j)$

で表され、コミュニケーションが成立した際の親密度の変化の期待値は、双方の選ぶ連絡手段とその組み合わせにおける利得の値から、以下のように表される。

$$(\alpha_{11}\tau_i\mu_i + \alpha_{12}\tau_i\mu_j + \alpha_{21}\tau_j\mu_i + \alpha_{22}\tau_j\mu_j)$$

これより、1 ステップでの親密度の変化の期待値 E は、

$$E = (p_i \cdot p_j) \cdot (\alpha_{11}\tau_i\mu_i + \alpha_{12}\tau_i\mu_j + \alpha_{21}\tau_j\mu_i + \alpha_{22}\tau_j\mu_j)$$

で求めることができる。ここで、2 人の発信確率 $p \geq 0$ であることから、 E の符号は連絡手段の選択率 τ 、 μ および利得行列 A 内の α の値の組み合わせにより決定する。

3.2 基本モデルにおける親密度変化

前章で考案した基本モデルにおいて、各々のパラメータの値は

$$\tau_i = \tau_j = \mu_i = \mu_j = 0.5$$

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} = 1, \alpha_{12} = \alpha_{21} = -1$$

であったので、基本モデルにおける 1 ステップの変化の期待値 E_{basic} は、

$$E_{basic} = p_i \cdot p_j \cdot (0.5^2 - 0.5^2 + 0.5^2 - 0.5^2) = 0$$

となる。

この結果から、基本モデルでは双方の発信確率 p_i および p_j 、すなわち双方の社交性 S_i および S_j によらず親密度の変化の期待値 $E_{basic} = 0$ で一定であり、親密度の増減は確率的にのみ起こり、浮動することがわかった。

3.3 数値シミュレーション

前節 3.2 の結果から、連絡手段の選択率および利得行列を変化させることで、親密度の増減およびネットワーク構造の経時変化のパターンが変化するとわかった。この様子を具体的に把握するため、以下の設定に従って数値シミュレーションを行なった。

3.3.1 非対称モデルの設定

基本モデルでは利得行列が対称であることから、2 通りある連絡手段に関して対称な結果となることが予想される。社交的な人ほど、そうでない人と比べて直接の対話を重視する傾向があり（北村 2005）、シャイな人はシャイでない人に比べて親密化が進行しにくいとされる（石田 2003）ことから、2 人が両方と

も「会話」を選ぶ時の方が、2 人とも「メール」を選ぶときよりも親密度の上昇が大きくなるよう、利得を以下のように設定した（対応する相性表を表 3 に示す）。

		qが選ぶ 連絡手段			
		親密度 の変化	会話	メール	
pが選ぶ 連絡手段	会話		+2	-1.5	利得行列 $A := \begin{bmatrix} 2 & -1.5 \\ -1.5 & 1 \end{bmatrix}$
	メール		-1.5	+1	

表 3. 非対称モデルの相性表

この条件のもとで、「会話」と「メール」の選択率が異なる 2 グループからなる 10 人のネットワークにおいて、2 つのグループの人数割合を変化させて、それぞれの場合における親密度の経時変化を追跡した。

3.3.2 シミュレーションの設定

10 人からなるネットワークを考え、その 10 人を「社会的」グループと「非社会的」グループに分けて、各々に対し連絡手段の選択率 τ, μ を以下のように与えた。

社会的なグループ : $\tau_s = 0.6, \mu_s = 0.4$

非社会的なグループ : $\tau_a = 0.4, \mu_a = 0.6$

10 人中に占める社会的な人の人数 1 人から 4 人まで変化させ、「孤立」状態が生じるかを調べた。ネットワークが平衡状態に到達する時間スケールを把握するため、シミュレーションのステップ数は 500 ステップから 50 万ステップまでの間で段階的に変化させた。1 試行あたりの反復計算回数は 100 回とした。

3.3.3 結果

各条件において、「孤立」状態になった人数を以下の図 5 に示す。

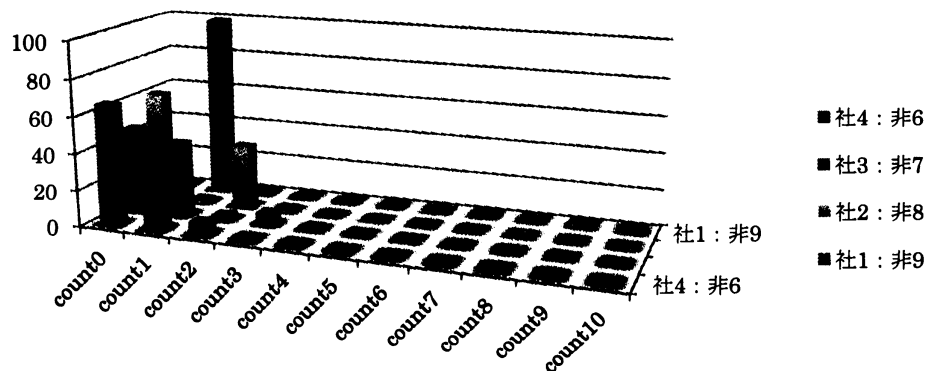


図 5. 各条件における「孤立」状態になった人数と頻度

グラフの奥行き軸が人数比の条件、横軸が最終的に「孤立」した人数、縦軸は 100 回の反復試行の中での頻度（実現回数）を表す。最前列、すなわち社会的な人が 1 人の条件では、多くの試行で 10 人全員が「孤立」、残りの試行でも 8 人が「孤立」しており、多くても 2 人のペアしか最後まで残らないことがわかる。社会的な人が 2 人以上いる条件では、グラフのピークに対応する「孤立」人数がグループ内の非社会的な人の数に一致しており、非社会的な人のみが「孤立」しやすいことを示唆している。

4. SNS Model

本章では、2 章で設定した基本モデルを拡張する。コミュニケーション時の連絡手段として、直接の対話およびメールのやり取りに加え、インターネットを通じたソーシャルネットワーキングサービス（以下 SNS と呼ぶ）における交流も重要な役割を担うようになりつつある。SNS を介したコミュニケーションは、

対話やメールといった1対1を基本とする連絡手段とは異なり1対多の関係性がメインとなっており、それゆえ対話やメールよりも心理的なハードルが低い一方、形成される対人関係も希薄になる傾向がある。こういった性質を反映するモデルとして、集団内の各個人が「会話」「メール」および「SNS」の3つの中から連絡手段を選択する「SNS モデル」を新たに考える。個人が社会的であるほど、会話、メール、SNSの順で選択率が高くなり、非社会的な人ほど、会話の割合が減りSNSを選択する割合が増えると仮定する。以上の設定のもとで、数値シミュレーションによってモデルの挙動を追跡し、「孤立」状態が生じるかを調べた。

4.1 SNS モデルの設定

2章の基本モデルおよび3章の非対称モデルでは、1ステップごとの親密度の変化を規定する利得行列 A を 2×2 行列で定義した。本モデルでは、3通りの連絡手段に対応して利得行列を 3×3 行列で再定義し、「会話」「メール」「SNS」の連絡手段の選択率を、それぞれ τ, μ, λ とする。

4.2 数値シミュレーション

数値シミュレーションを行なうために、上記で定義した利得行列の各利得を以下の通り設定した（対応する相性表を表4に示す）。

		qが選ぶ連絡手段		
Pが選ぶ連絡手段	親密度の変化	会話	メール	SNS
	会話	+3	-1	-2
	メール	-1	+2	-1
	SNS	-2	-1	+1

$$\text{利得行列 } A := \begin{bmatrix} 3 & -1 & -2 \\ -1 & 2 & -1 \\ -2 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

表 4. 相性表

連絡手段の選択率は、社会的なグループを $\tau = 0.5, \mu = 0.3, \lambda = 0.2$ 、非社会的なグループを $\tau = 0.1, \mu = 0.4, \lambda = 0.5$ とした。10人中に占める社会的な人の数を1人から9人まで順に変化させ、系が十分定常状態に到達していると判断された、5000ステップの試行を行なった。

4.3 結果

各条件において、「孤立」状態になった人数を以下の図6に示す。

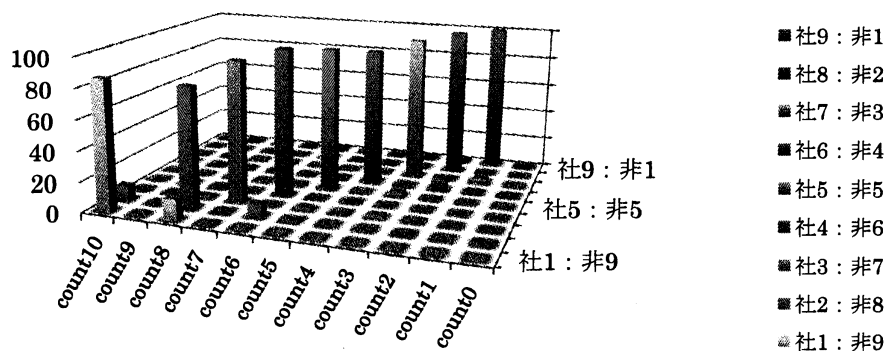


図 6. 各条件における「孤立」状態になった人数と頻度

グラフの奥行き軸が人数比の条件、横軸が最終的に「孤立」した人数、縦軸は100回の反復試行の中での頻度（実現回数）を表す。最前列、すなわち社会的な人が1人の条件では、多くの試行で10人全員が「孤立」、残りの試行でも8人が「孤立」しており、多くても2人のペアしか最後まで残らないことがわかる。社会的な人が2人以上いる条件では、グラフのピークに対応する「孤立」人数がグループ内の非社会的な人の数に一致しており、非社会的な人のみが「孤立」しやすいことを示唆している。

5. Developed Model and Future Works

本章では前章までの内容をふまえ、2章で設定した基本モデルに新たな要素を導入し、対人コミュニケーションの実情をよりよく反映すると考えられる新たなモデルを提示する。

5.1 改良モデルの概念

基本モデルでは、個人の社交性を「他人とのつながり度合いの総和」として定義し、時間変化する値として考えたが、本モデルでは個人の社交性を「個人に備わった資質」と考え、他人とのつながり度合いによらない定数として定義する。また、基本モデルでは親密度に方向を考慮していなかったが、本モデルでは方向性をもった量として再定義する。さらに、コミュニケーションに順序をもたせ、一定の発信確率に従って呼びかけを行なう呼びかけ側に対し受け手側は必ず応答するものとして、一度のコミュニケーションで各々の方向つき親密度の変化量を別々に定めることを考える。詳細を次節に記す。

5.2 ネットワーク構造と相互作用

n 人のグループにおける個人の社交性および親密度にまつわる各変量を以下のように定義する。

個人 i の社交性： σ_i ($0 < \sigma < 1$)

個人 i から j への方向つき親密度： $w_{i \rightarrow j}$ ($w \geq 0$)

個人 i, j 間の相互親密度： $W_{i,j} \triangleq \sqrt{w_{i \rightarrow j} \cdot w_{j \rightarrow i}}$

個人 i の総親密度： $S_i \triangleq \sum_{j=1}^n W_{i,j}$

相互親密度が基本モデルの「親密度」、総親密度が基本モデルの「社交性」に対応する。以下に、ネットワーク内の2つのノードおよびその間のリンクの模式図を示す。

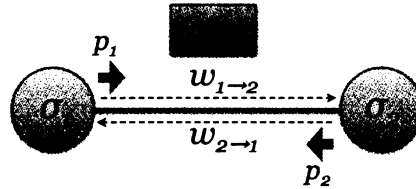


図 7. 改良モデルの模式図

上記のモデルにおいて、あるノードが保有する全てのリンクについて相互親密度 $W = 0$ となり、当該ノードの社交性 $S = 0$ となった時、そのノードは「孤立」状態となる。

次に、個人間のコミュニケーションを再現するために、以下の手順に従ってネットワークを時間発展させるものとする。

- ①初期状態として、全てのリンクに対し方向つき親密度 $w = 1$ の初期値を与える。
- ②各個人は、保有するリンクのそれぞれに対して以下に定める確率で呼びかけを行なう。

$$\text{発信確率} : p_i := \frac{\sigma_i}{1 + \sigma_i} \quad (0 \leq p_i < 1)$$

- ③呼びかけの際、呼びかけ側は「会話」「メール」どちらか一方の連絡手段を選択する。
- ④呼びかけられた側は、「会話」「メール」どちらか一方の連絡手段を選択し返答する。
- ⑤呼びかけ側から受け手側への方向つき親密度 w の値は、2人が選択した連絡手段の組み合わせに応じて変化する。受け手側から呼びかけ側への方向付き親密度は、一定値の上昇とする。
- ⑥以上を1ステップとして、一定時間が経過した後の各個人の総親密度を検証する。

5.3 今後の展望

本研究では、2章および3章で基本モデルの構築およびその特性を明らかにし、4章で基本モデルを拡張

して、「複数の連絡手段を併用する」という、現実世界でみられる対人コミュニケーションに特徴的な状況を再現する試みを行なった。現実には多くの選択肢や考慮すべき条件が存在しているが、その一部を取り出した簡易なモデルにおいて、「グループからの孤立」という現象を再現できた。今後は、本章の前半で提示した改良モデルを用いて、双方向的かつ非対称性を内包したコミュニケーションモデルを通じて、対人関係ネットワークの時間変遷についてさらに理解を深めることが望まれる。

6. References

- 藤竹暁・水越伸・松田美沙・川浦康至 (2001).「座談会／携帯電話と社会生活」, 川浦康至・松田美沙 (編)『現代のエスプリ No.405 : 携帯電話と社会生活』. 至文堂 5-33
- 石田靖彦 (2003).「友人関係の形成過程におけるシャイネスの影響—大学新入生の縦断的研究—」. 対人社会心理学研究 3: 15-22
- 川浦康至 (2002).「孤立の不安、孤独の不安：ケータイ文化論」, 川浦康至・佐々木能章 (編)『現代のエスプリ No.421 : 喜怒哀楽』. 至文堂 167-178
- 北村智 (2005).「対面および携帯メールの社会的ネットワークと孤独感—社交性と社会的ネットワークの相互作用を中心に—」. 社会情報学研究 10: 1-13
- 松島裕 (2010).「友人関係ネットワークの時間推移」. 名古屋工業大学情報工学科 卒業論文
- 松島裕・門阪祥吾・山本修平・犬塚信博 (2010).「学生の出席記録を用いた友人ネットワークの分析」. 第24回人工知能学会全国大会 1G2-4
- 杉崎裕治 (2008).「友人関係ネットワークとメッセージ伝達ネットワークの構造と時間的变化」. 筑波大学大学院システム情報工学研究科 修士論文